




Root region airfoil for wind turbine

Patent number: DE69415292T
Publication date: 1999-07-15
Inventor: TANGLER JAMES L (US); SOMERS DAN M (US)
Applicant: MIDWEST RESEARCH INST (US)
Classification:
 - international: F03D1/06
 - european: F03D1/06B
Application number: DE19946015292T 19940919
Priority number(s): US19940181008 19940114

Also published as:

 EP0663527 (A1)
 US5417548 (A1)
 EP0663527 (B1)

Report a data error here

Abstract not available for DE69415292T

Abstract of corresponding document: **EP0663527**

The airfoil comprises a leading edge, a trailing edge spaced from the leading edge and an upper surface extending from the leading edge to the trailing edge. A lower surface extends from the leading edge to the trailing edge. The airfoil has a cross-sectional shape characterized by a thickness in a range from 24%-26%, a Reynolds number in a range from 1,000,000-1,800,000, and a maximum lift coefficient in a range from 1.4-1.6.

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Übersetzung der
europäischen Patentschrift

⑤① Int. Cl.⁶:
F 03 D 1/06

⑧⑦ EP 0 663 527 B 1

⑩ DE 694 15 292 T 2

- ②① Deutsches Aktenzeichen: 694 15 292.7
⑧⑥ Europäisches Aktenzeichen: 94 114 734.0
⑧⑥ Europäischer Anmeldetag: 19. 9. 94
⑧⑦ Erstveröffentlichung durch das EPA: 19. 7. 95
⑧⑦ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 16. 12. 98
④⑦ Veröffentlichungstag im Patentblatt: 15. 7. 99

- ③⑩ Unionspriorität:
181008 14. 01. 94 US
- ⑦③ Patentinhaber:
Midwest Research Institute, Kansas City, Mo., US
- ⑦④ Vertreter:
Wagner, K., Dipl.-Ing.; Geyer, U., Dipl.-Phys.
Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 80538 München
- ⑧④ Benannte Vertragsstaaten:
AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LI, LU, MC,
NL, PT, SE

- ⑦② Erfinder:
Tangler, James L, Boulder Colorado 80303, US;
Somers, Dan M, Pennsylvania 16803, US

⑤④ Wurzelprofil für Windturbine

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 694 15 292 T 2

DE 694 15 292 T 2

Hintergrund der Erfindung

Die Erfindung bezieht sich auf Windturbinen und insbesondere auf das Profil
5 des Flügelquerschnitts zur Verwendung bei der Schaufel einer solchen Turbine.

In der Vergangenheit wurden für Windturbinen konventionelle Profilkonstruktionen von Flügelquerschnitten des Flugzeugbaus verwendet. Solche Flugzeugprofilkonstruktionen von Flügelquerschnitten riefen bei den Turbinen
10 Probleme hervor. Für saubere Schaufelbedingungen ergeben diese Profile von Flügelquerschnitten bei starken Winden übermäßig viel Leistung (was zur Überlastung der Generatoren führt). Ein weiteres Problem bei derartigen konventionellen Flugzeugprofilen von Flügelquerschnitten, ein Problem welches
15 durch die vorliegende Erfindung speziell angegangen wird, tritt dann auf, wenn die Schaufeln eine unzureichende Energieausgangsgröße erzeugen und zwar somit der Tatsache, daß die Schaufeln mit einer Ansammlung von Insekten oder in der Luft vorhandenen Verunreinigungen beschichtet werden. Diese Beschichtung oder Verschmutzung der Schaufeln erzeugt eine Profil-
20 rauigkeit des Flügelquerschnitts, die den maximalen Hubkoeffizienten des Profils des Flügelquerschnitts und die Leistungssollausgangsgröße beeinflusst. Bei einem Flugzeug ist eine solche Rauigkeit kein Hauptproblem, da die Flugzeuge typischerweise in sauberer Luft in großen Höhen fliegen und da die Flugzeuge plangemäß gesäubert werden. Für Windturbinen ist eine solche
25 Reinigung aber teuer und auch oftmals schwierig.

In der Vergangenheit waren Windturbinenschaufeln den Effekten der Rauigkeit in hohem Maße ausgesetzt. Die vorliegende Erfindung betrifft ein verbessertes dickes Profil eines Flügelquerschnitts für den Wurzelabschnitt der
30 Schaufel einer Windturbine mit horizontaler Achse, wobei der maximale Hubkoeffizient des Profils des Flügelquerschnitts eine minimale Empfindlichkeit gegenüber Vorderkantenrauigkeitseffekten besitzt.

Ein Profil des Flügelquerschnitts für die Rotorschaufeln von Windturbinen ist in U.S. Patent 4,732,542, ausgegeben an Hahn und andere, offenbart. Dieses Patent richtet sich jedoch auf spezielle Konstruktionsverfahren und nicht auf die aeronautische Konstruktion zur Minimierung von Rauigkeitseffekten.

5

Zwei Profile des Flügelquerschnitts für Turbopropflugzeuge sind in den U.S. Patenten 4,941,803 und 4,830,574, ausgegeben für Wainauski und andere, beschrieben. Es gibt mehrere Unterschiede zwischen dem Profil des Flügelquerschnitts der vorliegenden Erfindung und denen der Wainauski u. a. Patente. Besonders sei bemerkt, daß das Patent die Verwendung von viel kleineren Schaufeln in einem Propellergebläse (Propvan) ins Auge faßt. Auch sind die Profile des Patentes im allgemeinen dünner mit einem dicken Bereich von nur 2% bis 20% entlang der Schaufel. Die Profile des Flügelquerschnitts der Patente wurden für hohe Machzahlen und hohe Schaufelsolidität konstruiert. Auch wurden die maximalen Hubkoeffizienten für die Wainauski und andere Patente nicht dahingehend konstruiert, daß sie unempfindlich gegenüber Rauigkeitseffekten sind. Beide Patente diskutieren auch die Schädigung durch Fremdkörper, aber nicht die Rauigkeitsempfindlichkeit. Die Patente befassen sich mehr mit der Schädigung der Vorderkante als mit der Akkumulation von Insekten und in der Luft vorhandenen Verunreinigungen. Wiederum minimieren die bei Flugzeugen vorgesehenen Reinigungsprozesse und die saubere Luft Probleme hinsichtlich der Rauigkeit, wohingegen eine solche Reinigung für Windturbinen teuer ist und die Oberflächenverunreinigung vor einer Reinigung die Gesamtenergieabgabe für Windturbinen beeinflußt.

25

U.S. Patent 4,606,519 an Fertis und andere richtet sich auf ein Profil eines Flügelquerschnitts mit einem Versatz in der oberen Oberfläche oder Oberseite. Das Profil des Flügelquerschnitts ist derart konstruiert, daß die Hub- und Abbruchcharakteristika des Flügels verbessert werden, und zwar bei hohen Flugluftgeschwindigkeiten ohne die Verzögerung bzw. den Stirnwiderstand wesentlich zu erhöhen. Das Minimieren der Rauigkeitsempfindlichkeit liegt außerhalb der Betrachtungen dieses Patents. Die vorliegende Erfindung sieht

30

ferner eine glatte Saugoberfläche vor ohne die diskrete Stufe oder Versetzung des genannten Patents.

Rauhigkeitsprobleme werden auch nicht im U.S. Patent 4,459,083 an
5 Bingham diskutiert. Dieses Patent richtet sich speziell auf Profile von Flügel-
querschnitten für Flugzeuge der Rotorbauart und ist insofern auf eine dünnere
Schaufelbauart gerichtet. Das Profil des Flügelquerschnitts dieses Patents ist
ebenfalls konstruiert zur Verminderung von Kompressibilitätseffekten und zum
Vorsehen einer hohen Verzögerungsdivergenzmachzahl. Im Gegensatz dazu
10 sind die Profile des Flügelquerschnitts der vorliegenden Erfindung nicht derart
konstruiert, daß sie das eine oder andere dieser Merkmale besitzen.

Der Laminarfluß über ein Profil des Flügelquerschnitts ist das Ziel von U.S.
Patent 4,619,423 an Holmes und andere. Dieses Patent betrifft speziell die
15 Formung des Interfacemechanismus an der Verbindung der vorderen Kanten-
struktur mit sowohl den oberen und unteren Hauptflügelhautplatten, um eine
laminare Strömung über sowohl die Ober- und Unterseiten des Profils des
Flügelquerschnitts vorzusehen. Das Patent verwendet somit passive geome-
trische Grenzschicht- bzw. Interfacevorrichtungen, um die Laminarströmung
20 über eine Diskontinuität der Profiloberfläche des Flügelquerschnitts aufrecht
zu erhalten. Die Aufrechterhaltung der Laminarströmung durch Formung eines
Interfacemechanismus ist jedoch kein Problem der vorliegenden Erfindung
und auch Konstruktionserfordernis für das Profil des Flügelquerschnitts der
Erfindung.

25 Das Profil des Flügelquerschnitts gemäß U.S. Patent 4,830,315 besitzt eine
relativ dünne hintere Kante mit einer Reihe von Trögen und Rippen zur Bil-
dung von wellenartigen Oberflächenwellen. Das Patent von Presy Jr. und an-
deren betrifft nicht die Rauigkeit, die durch Insekten und in der Luft vorhan-
30 denen Verunreinigungen hervorgerufen wird. Es sei ferner bemerkt, daß die
Rauigkeit im Allgemeinen deutlicher an der vorderen Kante des Profils des
Flügelquerschnitts auftritt, wohingegen dieses eben genannte Patent sich mit
der Geometrie der hinteren Kante befaßt, um die Grenzschichttrennung zu

verzögern, ohne dafür eine merkbare Drag- oder Verzögerungsstrafe zahlen zu müssen.

5 Eine nicht glatte Oberflächengestalt ist in U.S. Patent 5,114,099 an Gao offenbart. Im Gegensatz dazu ist die Oberfläche der vorliegenden Erfindung von konventioneller im allgemeinen glatter Bauart. Die Oberflächenform des genannten Patents versucht die Verzögerung zu reduzieren. Rauigkeit und deren Effekte sind kein Problem dieses Patents.

10 The Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol. 39, 1992 Amsterdam, pages 151-160, by Timmer WA & R.P.O.M. Van Rooy, "Thick airfoils for HAWTs", offenbart ein Profil eines Flügelquerschnitts mit einer Querschnittsgestalt mit einer Dicke im Bereich von 24% bis 26%, einer Reynoldszahl von 3 000 000 und einem maximalen Hubkoeffizienten im Bereich von 1,4 bis 1,6.
15

Zusammenfassend befaßt sich keines der oben genannten Patente speziell mit einer Profilkonstruktion eines Flügelquerschnitts zur Minimierung der Rauigkeitsempfindlichkeit, mit Ausnahme des U.S. Patents 4,619,423. Dieses
20 Patent ist jedoch mit einem Interfacemechanismus befaßt, um die Laminarströmung über die Profiloberfläche aufrecht zu halten.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein Profil eines Flügelquerschnitts vorgesehen, wie es in irgendeinem der Ansprüche 1-7 angegeben ist.
25

Zusammenfassung der Erfindung

Es ist ein Ziel der vorliegenden Erfindung ein Profil eines Flügelquerschnitts hoher Leistungsfähigkeit bei minimaler Rauigkeitsempfindlichkeit anzugeben.
30

Es ist ferner ein Ziel der Erfindung ein Windturbinenschaufelprofil vorzusehen, welches einen hohen Hubkoeffizienten besitzt und minimale Empfindlichkeit gegenüber Rauigkeitseffekten.

Ein weiteres Ziel der Erfindung ist es ein dickes Wurzelprofil eines Flügelquerschnitts vorzusehen, welches Energieverluste selbst dann minimiert, wenn die Schaufeln mit Insektenansammlungen oder in der Luft vorhandenen Fremdstoffen belegt werden.

Es ist weiterhin ein Ziel der Erfindung ein Profil eines Flügelquerschnitts vorzusehen, welches die Anforderung hinsichtlich der Schaufelreinigungen minimiert und somit Energieerzeugungsverluste minimiert.

Ein weiteres Ziel der Erfindung ist es ein Profil eines Flügelquerschnitts vorzusehen, daß ein hohes Verhältnis aus Hub zu Verzögerung aufweist, welches nahe dem maximalen Hubkoeffizienten auftritt.

Das Hauptziel der neuen Windturbinenschaufelkonstruktion besteht darin, die kinetische Energie im Wind in mechanische Energie so preiswert und effizient wie möglich umzuwandeln. Jedweder Rotorwirkungsgradverlust infolge von Rauigkeit beeinflußt die Gesamtenergieabgabe, und das Reinigen großer Windturbinenschaufeln zur Minimierung der Rauigkeit kann kostspielig in seiner Ausführung sein.

Die Schaufeln von Windturbinen mit horizontaler Achse überziehen sich typischerweise mit Insektenansammlungen und in der Luft vorhandenen Verunreinigungen. Diese Ansammlung von Schmutz, die als Rauigkeit bezeichnet wird, erfolgt vorherrschend an der vorderen Kante der Schaufel. Die Rauigkeit unterbricht den effizienten Betrieb der Schaufeln und vermindert deren Gesamtleistungsfähigkeit.

Die vorliegende Erfindung richtet sich auf ein dickes Profil eines Flügelquerschnitts für die Wurzelzone der Schaufel und ist derart konstruiert, daß sich ein maximaler Hubkoeffizient ergibt, der weniger gegenüber Rauigkeitseffekten empfindlich ist.

Die Profile der Flügelquerschnitte liegen im Bereich von 24% bis 26% Dicke, wobei Dicke definiert ist durch die Profiltiefe senkrecht zur Sehnen- bzw. Segmentlinie, dividiert durch die Segmentlinienlänge, und die Profile der Flügelquerschnitte werden in einer Schaufel mit einer Länge von 5 bis 15 Metern verwendet. Die Profile der Flügelquerschnitte sind mit einer Reynoldszahl im Bereich von 1,2 bis 1,8 Millionen konstruiert, und zwar mit einem maximalen Hubkoeffizienten von 1,4 bis 1,6. Die Profile der Flügelquerschnitte sind speziell für die Wurzelzone der Windturbinenschaufel konstruiert, obwohl die Konstruktion bis in den Mittelspannabschnitt erweitert werden kann.

10

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

- Figur 1 ist eine perspektivische Ansicht einer Windturbine mit horizontaler Achse, bei der die Erfindung eingesetzt werden kann;
- 15 Figur 2 ist ein Profil eines Flügelquerschnitts gemäß der Erfindung;
- Figur 3 ist ein Profil eines weiteren Flügelquerschnitts gemäß der Erfindung.

Ins Einzelne gehende Beschreibung des bevorzugten Ausführungsbeispiels

- 20 Figur 1 zeigt eine typische abreiß- oder strömungsabreißregulierte (engl. stall-regulated) Windturbine mit horizontaler Achse. Die Schaufeln 5 rotieren um eine Mittelachsenwelle 4 mit einer mittigen horizontalen Drehachse, und der gesamte Rotormechanismus wird durch den Tragturm 3 getragen.
- 25 Die vorliegende Erfindung bezieht sich besonders auf die Schaufeln der Dick-Flügelquerschnittsfamilie. Solche Schaufeln haben etwas mehr Luftwiderstand als Dünn-Flügelquerschnittsschaufeln und sie sind typischerweise entweder aus Fieberglass oder einem Holzkomposit hergestellt. Die Schaufeln liegen im Bereich einer Größe von 5 bis 15 Metern, um einen Rotor zu bilden, der bis zu
- 30 30 Metern Durchmesser haben kann.

Die Flügelquerschnitte haben typischerweise Leistungscharakteristika, die so ausgelegt sind, daß sie sich von der Schaufelspitze (95% Radius vom Dreh-

zentrum) zur Schaufelwurzel (bis zu 50% Radius von dem Drehmittelpunkt) ändern. Die vorliegende Erfindung bezieht sich in erster Linie auf die Zone von 20% bis 50% vom Drehmittelpunkt. Somit sind die Dick-Flügelquerschnitte der Erfindung in erster Linie Wurzelzonenflügelquerschnitte.

Ein Flügelquerschnitt in der Wurzelzone der Schaufel muß einen hohen maximalen Lift- oder Auftriebskoeffizienten besitzen, und ein hohes Hub- zu Stirnwiderstandverhältnis (lift to drag) nahe am maximalen Hub- oder Liftkoeffizienten, um das Rotorstarten und die Energieproduktion bei mittleren Windgeschwindigkeiten zu unterstützen. Die Flügelquerschnitte (airfoils) der vorliegenden Erfindung sind in einer Schaufel vorgesehen, deren maximaler Auftriebs- oder Hubkoeffizient sich kontinuierlich ausgehend von der Schaufelspitze zur Schaufelwurzel vergrößert, und zwar für eine effektive Spitzenleistungssteuerung. Dies bedeutet eine 15% größere überstrichene Scheibenfläche (swept disc area) für eine gegebene Generatorgröße und hat eine erhöhte Energieproduktion zur Folge.

Die Flügelquerschnitte der Erfindung sind derart konstruiert, daß der maximale Auftriebshub oder Liftkoeffizient gegenüber Rauigkeitseffekten weniger empfindlich ist. Um die Rauigkeitsunempfindlichkeit zu erreichen, ist die Form des Flügelquerschnitts geometrisch derart zugeschnitten, daß ein Übergang von laminarer zu turbulenter Strömung nahe der Vorderkante des Flügelquerschnitts auftritt, wenn der maximale Hubkoeffizient angenähert wird.

25

Figur 2 zeigt ein Profil eines Flügelquerschnitts gemäß der Erfindung. Der Flügelquerschnitt besitzt eine spezielle geometrische Ausbildung um eine Reynoldszahl von 1 500 000 mit einem maximalen Hub- oder Auftriebskoeffizienten von 1,4 bis 1,6 zu erreichen. Der maximale Auftriebskoeffizient ist weitgehend gegenüber Rauigkeitseffekten unempfindlich. Der minimale Abriß- oder Dragkoeffizient ist annähernd 0,010.

30

Die obere Oberfläche (Oberseite) des Flügelquerschnitts ist bei 13 gezeigt und die untere Oberfläche (Unterseite) bei 14. Die vordere Kante ist bei 15 und die Hinterkante bei 16 gezeigt. Der Flügelquerschnitt besitzt eine Dicke von 24%.

5

Die spezielle Gestalt des Flügelquerschnitts 11 der Figur 2 ist in der Form der folgenden Tabelle von Koordinaten angegeben. Die x/c -Werte sind dimensionslose Stellen auf der Schaufelsehnenlinie 12. Sie sind für sowohl die Ober- als auch die Unterseiten angegeben. Die y/c -Werte sind dimensionslose Höhen von der Sehnenlinie 12 aus zu Punkten entweder auf der Ober- oder Unterseite.

Oberseite

Unterseite

15

x/c	y/c
0.00116	0.00703
.00830	.01892
.02064	.03130
.03771	.04378
.05918	.05608
.08475	.06791
.11409	.07903
.14685	.08921
.18288	.09821
.22111	.10580
.26177	.11175
.30418	.11584
.34829	.11886
.39439	.11573
.44237	.11251
.49169	.10775
.54177	.10173
.59199	.09473
.64174	.08688
.69037	.07873
.73723	.07016
.78169	.06148
.82312	.05276
.86095	.04417
.89460	.03567
.92380	.02706
.94879	.01848
.96963	.01071
.98582	.00470
.99632	.00112
1.00000	.00000

25

x/c	y/c
0.00048	-0.00470
.00607	-.01748
.01644	-.03159
.03097	-.04646
.04923	-.06162
.07077	-.07662
.09515	-.09096
.12193	-.10412
.15072	-.11545
.18122	-.12425
.21322	-.12971
.24712	-.13079
.28389	-.12736
.32394	-.11990
.36753	-.10857
.41483	-.09511
.46552	-.07962
.51809	-.06328
.57485	-.04703
.63189	-.03173
.68912	-.01818
.74529	-.00701
.79901	.00134
.84887	.00671
.89348	.00917
.93154	.00910
.96197	.00701
.98364	.00377
.99606	.00102
1.00000	.00000

30

Figur 3 ist ein Profil eines weiteren Flügelquerschnitts gemäß der Erfindung. Der Flügelquerschnitt besitzt eine spezielle geometrische Auslegung, um eine Reynoldszahl von 1 200 000 mit einem maximalen Auftriebs- oder Hubkoeffizienten von 1,4 bis 1,5 zu erreichen. Dieser maximale Auftriebskoeffizient ist weitgehend gegenüber Rauigkeitseffekten unempfindlich. Der minimale Abrißkoeffizient ist annähernd 0,011.

Die Oberseite des Flügelquerschnitts ist bei 23 und die Unterseite bei 24 gezeigt. Die Vorderkante ist bei 25 und die Hinterkante bei 26 dargestellt. Der Flügelquerschnitt besitzt eine Dicke von 26%.

Die spezielle Form des Flügelquerschnitts 21 der Figur 3 ist auch in der Form der in der folgenden Tabelle vorgesehene Koordinaten ausgedrückt. Die x/c-Werte sind dimensionslose Stellen auf der Schaufelsehnenlinie 22. Sie sind sowohl für die Ober- als auch Unterseiten angegeben. Die y/c-Werte sind dimensionslose Höhen von der Sehnenlinie 22 zu Punkten entweder auf der Oberseite oder auf der Unterseite.

Oberseite

Unterseite

x/c	y/c
0.00057	0.00537
.00858	.01777
.01821	.03072
.03475	.04381
.05579	.05871
.06098	.06913
.11003	.08082
.14253	.09152
.17811	.10101
.21637	.10902
.25688	.11531
.29916	.11947
.34317	.12093
.38927	.11972
.43735	.11845
.48685	.11187
.53719	.10540
.58773	.09821
.63784	.09024
.68688	.08175
.73414	.07294
.77902	.06397
.82087	.05500
.85909	.04613

x/c	y/c
0.00110	-0.00764
.00741	-.02242
.01808	-.03839
.03268	-.05497
.05083	-.07167
.07213	-.08804
.09618	-.10358
.12257	-.11776
.15092	-.12995
.18094	-.13947
.21238	-.14648
.24569	-.14690
.28191	-.14360
.32148	-.13627
.36439	-.12537
.41069	-.11151
.46020	-.09549
.51257	-.07811
.56728	-.06032
.62362	-.04304
.68061	-.02724
.73706	-.01371
.79160	-.00312
.84270	.00417

Oberseite

x/c	y/c
.89307	.03733
.92258	.02838
.94785	.01943
.96899	.01127
.98548	.00485
.99623	.00118
1.00000	.00000

Unterseite

x/c	y/c
.88881	.00809
.92844	.00894
.96029	.00725
.98298	.00400
.99582	.00109
1.00000	.00000

Die Flügelquerschnitte der vorliegenden Erfindung sind Teil einer Familie von Flügelquerschnitten, welche Wurzelflügelquerschnitte in einem Bereich von 24% bis 26% Dicke umfassen, und zwar mit einer Reynoldszahl im Bereich von 1 000 000 bis 1 800 000, mit einem maximalen Auftriebskoeffizienten von 1,4 bis 1,6. Sie wurden speziell für Windturbinen mit horizontaler Achse und zwar fester Steigung und Abrißreguliert konstruiert, aber es ist vorgesehen, daß sie auch mit Windturbinen mit variabler Steigung oder variabler Geschwindigkeit verwendet werden könne.

Obwohl die Flügelquerschnitte speziell zur Verminderung der Rauigkeitsempfindlichkeit konstruiert wurden, ist vorgesehen, daß die Effekte der Erosion von 10 bis 30 Tausendstel eines Zolls auch reduziert sind bei den erfindungsgemäßen Flügelquerschnitten.

GERMAN TRANSLATION OF CLAIMS 1 -7

1. Ein Flügelquerschnitt (11, 21), der folgendes aufweist:
- 5 eine Vorderkante (15, 25),
eine Hinterkante (16, 26) beabstandet gegenüber der Vorderkante (15, 25),
eine sich von der Vorderkante (15, 25) zu der Hinterkante (16, 26) erstreckende obere Oberseite (13, 23),
eine sich von der Vorderkante (15, 25) zu der Hinterkante (16, 26) erstreckende Unterseite (14, 24),
- 10 wobei der Flügelquerschnitt (11, 21) eine Querschnittsform mit einer Dicke im Bereich von 24% bis 26% aufweist,
einen maximalen Hubkoeffizienten im Bereich von 1,4 bis 1,6, und wobei der maximale Hubkoeffizient derart ausgelegt ist, daß er größtenteils gegenüber
- 15 Rauigkeitseffekten unempfindlich ist,
und wobei der Flügelquerschnitt (11, 21) dadurch gekennzeichnet ist, daß er eine Querschnittsform mit einer Reynoldszahl im Bereich von 1 200 000 bis 1 800 000 besitzt, und wobei der Flügelquerschnitt (11) eine sich von der Vorderkante (15) zur Hinterkante (16) erstreckende Schaufelsehnenlinie (12)
- 20 aufweist, wobei die x/c -Werte dimensionslose Stellen auf der Schaufelsehnenlinie (12) sind und wobei die y/c -Werte dimensionslose Höhen von der Schaufelsehnenlinie (12) zu Punkten an der Oberseite (13) oder der Unterseite (14) sind, wobei die Werte für die Oberseite (13) und die Unterseite (14) den folgenden Tabellen entsprechen:

Obere Oberfläche (Oberseite)			Untere Oberfläche (Unterseite)	
x/c	y/c		x/c	y/c
0.00116	0.00703		0.00048	-0.00470
.00830	.01892		.00607	-.01746
.02064	.03130		.01644	-.03159
.03771	.04378		.03097	-.04646
.05918	.05608		.04923	-.06162
.08475	.06791		.07077	-.07662
.11409	.07903		.09515	-.09000

	.14685	.08921		.12193	-.10412
	.18266	.09821		.15072	-.11545
	.22111	.10580		.18122	-.12425
5	.26177	.11175		.21322	-.12971
	.30418	.11564		.24712	-.13079
	.34829	.11696		.28389	-.12736
	.39439	.11573		.32394	-.11990
10	.44237	.11251		.36753	-.10887
	.49169	.10775		.41483	-.09511
	.54177	.10173		.46552	-.07962
	.59199	.09473		.51909	-.06328
	.64174	.08698		.57485	-.04703
15	.69037	.07873		.63189	-.03173
	.73723	.07016		.68912	-.01818
	.78169	.06146		.74529	-.00701
	.82312	.05276		.79901	-.00134
20	.86095	.04417		.84887	-.00671
	.89460	.03567		.89348	-.00917
	.92380	.02706		.93154	-.00910
	.94879	.01848		.96197	-.00701
25	.96963	.01071		.98364	-.00377
	.98582	.00470		.99606	-.00102
	.99632	.00112		1.00000	-.00000
	1.00000	.00000			

2. Flügelquerschnitt (11, 21) nach Anspruch 1, wobei der Flügelquerschnitt ein
30 Fuß- oder Wurzelzonenflügelquerschnitt ist.

3. Flügelquerschnitt (11) nach Anspruch 1, wobei der Flügelquerschnitt (11)
eine Dicke von 24% besitzt.

4. Flügelquerschnitt (11) nach Anspruch 3, wobei der Flügelquerschnitt eine Reynoldszahl von 1 500 000 besitzt.
- 5 5. Flügelquerschnitt (21) nach Anspruch 1, wobei der Flügelquerschnitt (21) eine Dicke von 26% hat.
6. Flügelquerschnitt (21) nach Anspruch 5, wobei der Flügelquerschnitt (21) eine Reynoldszahl von 1 200 000 besitzt.
- 10 7. Ein Flügelquerschnitt (11, 21), der folgendes aufweist:
 - eine Vorderkante (15, 25),
 - eine Hinterkante (16, 26) beabstandet von der Vorderkante (15, 25),
 - eine obere Oberseite (13, 23), die sich von der Vorderkante (15, 25) zu der
 - 15 Hinterkante (16, 26) erstreckt,
 - eine Unterseite (14, 24), die sich von der Vorderkante (15, 25) zur Hinterkante (16, 26) erstreckt, wobei der Flügelquerschnitt (11, 21) eine Querschnittsform mit einer Dicke im Bereich von 24% bis 26% besitzt, und
 - wobei ein maximaler Hubkoeffizient im Bereich von 1,4 bis 1,6 vorgesehen ist,
 - 20 und wobei der maximale Hubkoeffizient derart ausgelegt ist, daß er größtenteils gegenüber Rauigkeitseffekten unempfindlich ist,
 - wobei der Flügelquerschnitt (11, 21) dadurch gekennzeichnet ist, daß er eine Querschnittsform mit einer Reynoldszahl im Bereich von 1 200 000 bis
 - 1 800 000 aufweist, wobei der Flügelquerschnitt (21) eine Schaufelsehnenlinie
 - 25 (22) besitzt, die sich von der Vorderkante (25) zur Hinterkante (26) erstreckt, wobei die x/c-Werte dimensionslose Stellen auf der Schaufelsehnenlinie (22) sind und wobei die y/c-Werte dimensionslose Höhen sind, und zwar von der Schaufelsehnenlinie (22) zu Punkten an der Oberseite (23) oder der Unterseite (24), wobei die Werte den folgenden Tabellen für die Oberseite (23)
 - 30 bzw. Unterseite (24) entsprechen:

Obere Oberfläche (Oberseite)

Untere Oberfläche (Unterseite)

5

x/c	y/c	x/c	y/c
0.00057	0.00537	0.00110	-0.00764
.00658	.01777	.00741	-.02242
.01821	.03072	.01808	-.03839
.03475	.04381	.03268	-.05497
.05579	.05671	.05083	-.07167
.08099	.06913	.07213	-.08804
.11003	.08082	.09618	-.10358
.14253	.09152	.12257	-.11776
.17811	.10101	.15092	-.12995
.21637	.10902	.18094	-.13947
.25688	.11531	.21239	-.14548
.29916	.11947	.24569	-.14690
.34317	.12093	.28191	-.14360
.38927	.11972	.32148	-.13627
.43735	.11645	.36439	-.12537
.48685	.11157	.41069	-.11151
.53719	.10540	.46020	-.09549
.58773	.09821	.51257	-.07811
.63784	.09024	.56728	-.06032
.68686	.08175	.62362	-.04304
.73414	.07294	.68061	-.02724
.77902	.06397	.73706	-.01371
.82087	.05500	.79160	-.00312
.85909	.04613	.84270	.00417
.89307	.03733	.88881	.00809
.92258	.02838	.92844	.00894
.94785	.01943	.96029	.00725
.96899	.01127	.98298	.00400
.98548	.00495	.99592	.00109
.99623	.00118	1.00000	.00000
1.00000	.00000		

160399

694 15 292.7

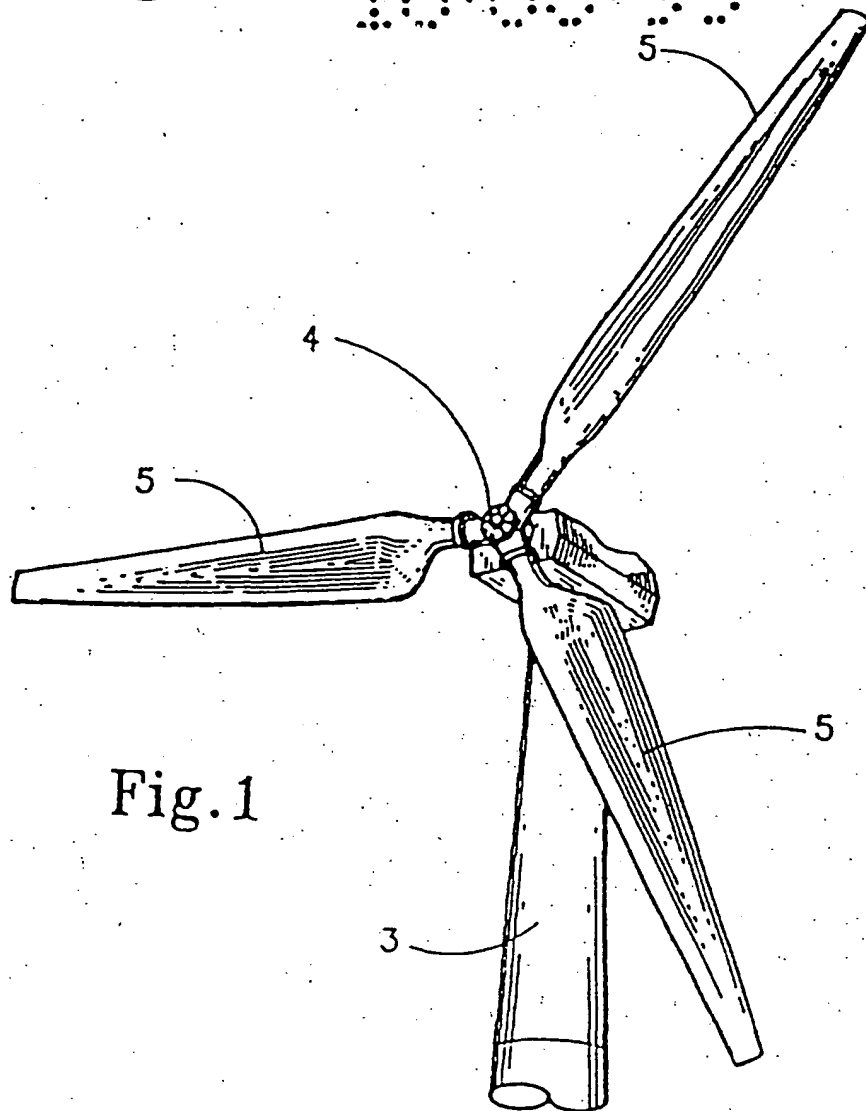


Fig. 1

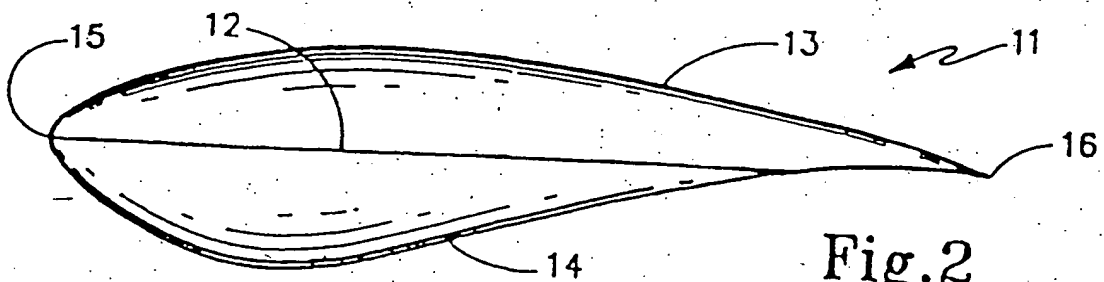


Fig. 2

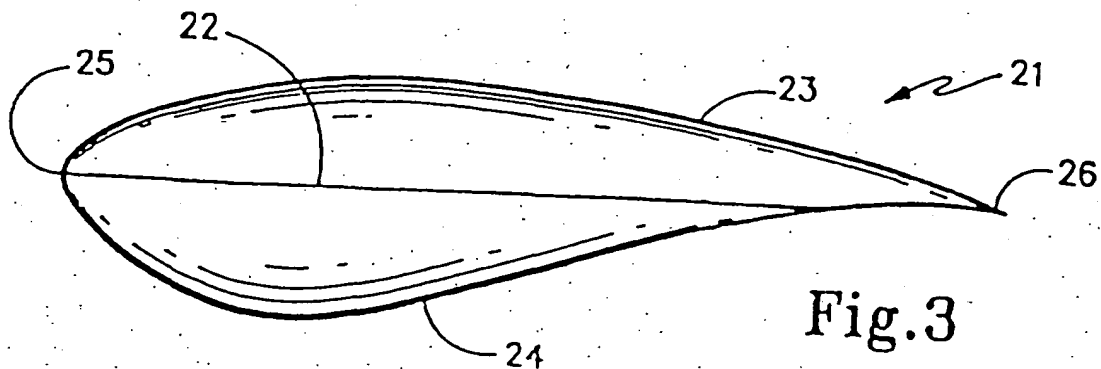


Fig. 3